

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-136810

(43)Date of publication of application : 31.05.1996

(51)Int.Cl.

G02B 21/00

(21)Application number : 06-273558

(71)Applicant : HAMAMATSU PHOTONICS KK

(22)Date of filing : 08.11.1994

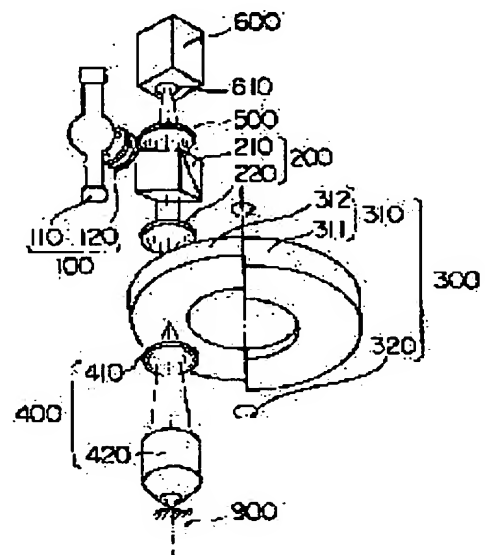
(72)Inventor : TERADA HIROTOshi

(54) CONFOCAL MICROSCOPE

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide a confocal microscope capable of making a depth of focus deeper than heretofore without superposing a blurred image.

CONSTITUTION: This microscope is a confocal scanner for outputting an irradiating light beam outputted from a light source part 100 to a sample through an optical system 200 while setting a distance between the sample and the scanner according to the light receiving position, the outputted beam from the confocal scanner 300, whose position against the irradiating beam is periodically changed, is converged through an optical system 400 and forms a minute spot on the sample 900. The reflected light beam and a reaction light beam by the minute spot on the sample form an image through the optical system 400, the confocal scanner 300, the optical system 200 and an optical system 500 successively and the image is picked up by means of an imaging device 600.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-136810

(43) 公開日 平成8年(1996)5月31日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 0 2 B 21/00

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平6-273558

(22) 出願日 平成6年(1994)11月8日

(71) 出願人 000236436

浜松ホトニクス株式会社

静岡県浜松市市野町1126番地の1

(72) 発明者 寺田 浩敏

静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ
トニクス株式会社内

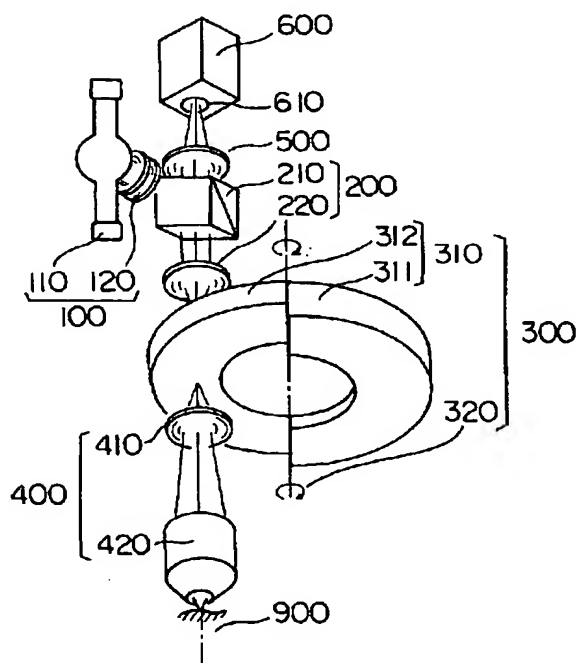
(74) 代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外3名)

(54) 【発明の名称】 共焦点顕微鏡

(57) 【要約】

【目的】 ボケた画像を重畳することなく焦点深度を従来よりも深くできる共焦点顕微鏡を提供する。

【構成】 本発明の共焦点顕微鏡は、光源部100から出力された照射光を、光学系200を介して、受光位置に応じた試料との距離を設定して照射光を試料に向けて出力する共焦点用スキャナであって、照射光に対する位置は周期的に変化する共焦点用スキャナ300し、共焦点用スキャナ300からの出力光を光学系400を介して集光し、試料900上に微小スポットを形成する。そして、試料900上の微小スポットでの反射光および応光は、光学系400、共焦点用スキャナ300、光学系200、および光学系500を順次介して形成された像を撮像装置600で撮像する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 試料を観測する共焦点顕微鏡であって、空間的に拡がった照射光を出力する光源部と、前記光源部から出力された照射光を入力し、コリメートして出力するとともに、照射光の出力側から入力した光の少なくとも一部を照射光の入力方向とは異なる方向に出力する第1の光学系と、前記第1の光学系から出力された照射光を受光し、受光した位置に応じた試料との距離を設定して照射光を試料に向けて出力する共焦点用スキャナであって、前記照射光に対する前記受光した位置は周期的に変化する共焦点用スキャナと、前記共焦点用スキャナから出力された照射光を測定対象である試料上に集光し微小スポットを形成する第2の光学系と、前記試料に照射光が照射された結果、前記試料から出力される、照射光の反射光および前記試料での反応に伴う反応光からなる発生光であって、前記第2の光学系、前記共焦点用スキャナ、および前記第1の光学系を順次介した発生光を入力し結像する第3の光学系と、

を備えることを特徴とする共焦点顕微鏡。
【請求項2】 前記共焦点用スキャナは、光源部からの光を受光する、位置に応じた厚さを有する盤状部材であって、配列位置に応じた光の導波方向を有し、両端の導波光受光領域面積が微小な複数の光導波路が固定された盤状部材と、

前記盤状部材を駆動し、前記盤状部材の前記光源部からの光の受光領域を周期的に変化させる駆動部と、備えることを特徴とする請求項1記載の共焦点顕微鏡。

【請求項3】 前記盤状部材は円柱状であり、前記駆動部は前記盤状部材を前記盤状部材の中心軸を回転軸として回転する、ことを特徴とする請求項2記載の共焦点顕微鏡。

【請求項4】 前記盤状部材は円錐台状であり、前記駆動部は前記盤状部材を前記盤状部材の中心軸を回転軸として回転する、ことを特徴とする請求項2記載の共焦点顕微鏡。

【請求項5】 前記光導波路はシングルモード光ファイバである、ことを特徴とする請求項2記載の共焦点顕微鏡。

【請求項6】 前記光導波路の導波方向は、前記光導波路の配列位置に依らず前記盤状部材の中心軸に略平行である、ことを特徴とする請求項2記載の共焦点顕微鏡。

【請求項7】 前記光導波路の中の前記盤状部材の半径方向が略同一方向に配列された複数の光導波路の導波方向は互いに略平行であるとともに前記盤状部材の中心軸方向と交差する、ことを特徴とする請求項2記載の共焦点顕微鏡。

【請求項8】 前記盤状部材の厚さは、前記駆動部の駆動方向に関して階段状に変化する、ことを特徴とする請

求項2記載の共焦点顕微鏡。

【請求項9】 前記盤状部材の厚さは、前記駆動部の駆動による前記盤状部材の前記光源部からの光の受光領域を周期的変化の1周期内で更に駆動方向に関して周期的に変化する、ことを特徴とする請求項2記載の共焦点顕微鏡。

【請求項10】 前記光導波路の配列領域は前記駆動部の駆動方向において偶数等分され、奇数番目の等分領域に配列された光導波路の導波方向は前記盤状部材の中心軸に略平行であり、偶数番目の等分領域に配列された光導波路の中の前記盤状部材の半径方向が略同一方向に配列された複数の光導波路の導波方向は互いに略平行であるとともに前記盤状部材の中心軸方向と交差する、ことを特徴とする請求項2記載の共焦点顕微鏡。

【請求項11】 前記光導波路の配列領域は前記駆動部の駆動方向において偶数等分され、奇数番目の等分領域に配列された光導波路の中の前記盤状部材の半径方向が略同一方向に配列された複数の光導波路の導波方向は互いに略平行であるとともに前記盤状部材の中心軸方向と第1の交差角で交差し、偶数番目の等分領域に配列された光導波路の前記盤状部材の半径方向が略同一方向に配列された複数の光導波路の導波方向は互いに略平行であるとともに前記盤状部材の中心軸方向と第2の交差角で交差する、ことを特徴とする請求項2記載の共焦点顕微鏡。

【請求項12】 前記第3の光学系は、前記奇数番目の等分領域に配列された光導波路を介した発生光を結像する第1の結像系と、前記偶数番目の等分領域に配列された光導波路を介した発生光を結像する第2の結像系と、前記駆動部による前記盤状部材の駆動に同期して、前記奇数番目の等分領域に照射光が照射される場合には発生光を前記第1の結像系に導き、前記偶数番目の等分領域に照射光が照射される場合には発生光を前記第2の結像系に導く光選択部と、を備えることを特徴とする請求項10または請求項11記載の共焦点顕微鏡。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、迷光を効率良く除去して明瞭な像を得るタンデム型の共焦点顕微鏡に関するものである。

【0002】

【従来の技術】タンデムスキャン型の共焦点顕微鏡は、肉眼で直接見ることのできる像を実時間でつくり出すことができるという優れた特性がある。そして、試料上に形成される照射光の微小スポットを走査するとともに迷光をカットするために、ニボー円盤あるいはニボー円盤相当のピンホール円盤を使用する装置が従来から提案されている。

【0003】図11は、共焦点用スキャナとしてニポ一円盤を採用した共焦点顕微鏡の構成図である。図11に示すように、この装置は、(a)空間的に拡がった照射光を出力する光源部910と、(b)複数の微小貫通口が形成され、これらの微小貫通口の開口部に入力した光源部910からの照射光を透過して出力する共焦点用スキャナ920と、(c)共焦点用スキャナ920から出力された照射光を測定対象である試料上に集光し微小スポットを形成する光学系930と、(d)試料990に照射光が照射された結果、試料990から出力される、照射光の反射光および試料990での反応に伴う反応光からなる発生光であって、光学系930を介して共焦点用スキャナ920に入力した後、共焦点用スキャナ920から出力された発生光を入力し結像する光学系940と、を備える。ここで、共焦点用スキャナ920は、①多数の微小貫通口が形成されたニポ一円盤921と、②ニポ一円盤921を回転駆動するモータ922と、を備える。

【0004】この装置では、光源部910から出力された照射光は、共焦点用スキャナ920のニポ一円盤921に入力する。ニポ一円盤921に照射された光の内、ニポ一円盤921に形成された微小貫通口（ピンホール）の開口部に入射した光は、微小貫通口を通過して出力される。ニポ一円盤921から出力された光は光学系930によって試料990上に集光され微小スポットを生じる。ところで、ニポ一円盤921はモータ922によって回転駆動されているので、ニポ一円盤921から出力する光は光学系930を介して試料990の観測量領域を走査する。

【0005】試料990に照射光が照射されると、試料990では反射光が生じるとともに、場合によっては蛍光などの反応光が生じる。これらの照射光の照射によって試料990で発生した光の内、光学系930に入力した光は照射光の進行方向とは逆の方向に進行し、ニポ一円盤921に至る。ニポ一円盤921に至った光の内、微小貫通口の開口に入力した光は微小貫通口を通過してニポ一円盤921の照射光の入力面から出力される。ニポ一円盤から出力された発生光は、光学系940を介して結像され、観測される。

【0006】上記の装置では、一般に、試料上の照射光の微小スポットでの照射光の照度が微弱であるという欠点を有するが、光源の発生する照射光強度を向上する、具体的には、光源としてレーザ装置とマイクロレンズアレイとを使用して、レーザ光をニポ一円盤のピンホールに集光させて通過させたものを照射光とすることにより改良が図られている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】従来のタンデムスキャン型の共焦点顕微鏡は上記のように構成され、焦点深度が浅くなるので、試料に厚みがある場合にボケた像が重

ならないという長所があるが、試料の薄いスライス像しか得られないため試料の形状が把握しにくいという短所も生じる。

【0008】本発明は、上記を鑑みてなされたものであり、ボケた画像を重畳することなく焦点深度を従来よりも深くできる共焦点顕微鏡を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明の共焦点顕微鏡は、(a)空間的に拡がった照射光を出力する光源部と、(b)光源部から出力された照射光を入力し、コリメートして出力するとともに、照射光の出力側から入力した光の少なくとも一部を照射光の入力方向とは異なる方向に出力する第1の光学系と、(c)光源部が出力した照射光を受光し、受光位置に応じた試料との距離を設定して照射光を試料に向けて出力する共焦点用スキャナであって、照射光に対する位置は周期的に変化する共焦点用スキャナと、(d)共焦点用スキャナから出力された照射光を測定対象である試料上に集光し微小スポットを形成する第2の光学系と、(e)試料に照射光が照射された結果、試料から出力される、照射光の反射光および試料での反応に伴う反応光からなる発生光であって、第2の光学系、共焦点用スキャナ、および第1の光学系を順次介した発生光を入力し結像する第3の光学系と、を備えることを特徴とする。

【0010】上記の共焦点用スキャナは、①光源部からの光を受光する、位置に応じた厚さを有する盤状部材であって、配列位置に応じた光の導波方向を有し、両端の導波光受光領域面積が微小な複数の光導波路が固定された盤状部材と、②盤状部材を駆動し、盤状部材の光源部からの光の受光領域を周期的に変化させる駆動部と、備えることを特徴としてもよい。

【0011】ここで、①盤状部材は円柱状であり、駆動部は盤状部材を盤状部材の中心軸を回転軸として回転することとすることもできるし、②盤状部材は円錐台状であり、駆動部は盤状部材を盤状部材の中心軸を回転軸として回転することとすることもできる。

【0012】また、光導波路としてはシングルモード光ファイバを好適に採用できる。

【0013】また、光導波路の導波方向は、①光導波路の配列位置に依らず盤状部材の中心軸に略平行に設定することとすることもできるし、②盤状部材の半径方向が略同一方向に配列された複数の光導波路についてはそれらの導波方向は互いに略平行であるとともに盤状部材の中心軸方向と交差するように設定することとすることもできる。

【0014】また、盤状部材の厚さは、①駆動部の駆動方向に関して階段状に変化させてもよいし、②駆動部の駆動による盤状部材の前記光源部からの光の受光領域を周期的変化の1周期内で更に駆動方向に関して周期的に変化させてもよい。

【0015】また、光導波路の配列領域は駆動部の駆動方向において偶数等分され、①奇数番目の等分領域に配列された光導波路の導波方向は盤状部材の中心軸に略平行であり、偶数番目の等分領域に配列された光導波路の導波方向は、盤状部材の半径方向が略同一方向に配列された複数の光導波路についてはそれらの導波方向は互いに略平行であるとともに盤状部材の中心軸方向と交差することを特徴としてもよいし、②奇数番目の等分領域に配列された光導波路の導波方向は盤状部材の半径方向が略同一方向に配列された複数の光導波路についてはそれらの導波方向は互いに略平行であるとともに盤状部材の中心軸方向と第1の交差角で交差し、偶数番目の等分領域に配列された光導波路の導波方向は盤状部材の半径方向が略同一方向に配列された複数の光導波路についてはそれらの導波方向は互いに略平行であるとともに盤状部材の中心軸方向と第2の交差角で交差することを特徴としてもよい。

【0016】ここで、第2の光学系は、①奇数番目の等分領域に配列された光導波路を介した発生光を結像する第1の結像系と、②偶数番目の等分領域に配列された光導波路を介した発生光を結像する第2の結像系と、③駆動部による盤状部材の駆動に同期して、奇数番目の等分領域に照射光が照射される場合には発生光を第1の結像系に導き、偶数番目の等分領域に照射光が照射される場合には発生光を第2の結像系に導く光選択部と、を備えることを特徴としてもよい。

【0017】

【作用】本発明の共焦点顕微鏡では、光源部が試料を照射する照射光を発生し、空間的に拡がった照射光が共焦点用スキャナに入力する。共焦点用スキャナにおける照射光の受光位置は、照射光に対して相対的に変化する。この変化は周期的である。そして、共焦点用スキャナは受光位置に応じた試料までの距離を設定して微小な出射領域から照射光を出力する。

【0018】共焦点用スキャナから出力された照射光は、第2の光学系で集光され、測定対象である試料上に微小スポットが形成される。照射光が照射された試料上の微小スポットから出力された、照射光の反射光または照射によって試料で生じた反応に伴う反応光である発生光の内、照射光の進路とは逆の進路で第2の光学系に入力した発生光は、照射光の進路とは逆の進路で共焦点用スキャナに入力する。

【0019】ところで、共焦点用スキャナの盤状部材は周期運動をし、照射光の光路に対して相対的位置が周期的に変化するので、照射光が導波される光導波路も周期的に変化する。更に、盤状部材の複数の光導波路は盤状部材の1周期分の駆動により盤状部材の試料へ向けての光出射端から試料までの距離ごとに、試料上に形成される照射光の微小スポット領域の総和領域が試料上の観測領域を略均一となる配置に形成されているので、試料上

に形成される照射光の微小スポットが試料上を周期的に走査する。

【0020】盤状部材を出力した照射光が試料に照射された結果、試料上の照射領域から出力された、照射光の反射光または試料における反応の結果生じた反応光からなる発生光であって、盤状部材の光導波路の照射光の出射端に戻ってきた発生光は、光導波路を通過し、第1の光学系に入力する。第1の光学系は、入力した発生光の少なくとも一部を照射光の光路方向とは異なり、かつ、照射光の光路方向の逆方向とは異なる方向に配置された第3の光学系に向けて出力する。第3の光学系は、入力した発生光が担った試料の情報を結像面上に像として形成する。この像を、肉眼あるいは撮像装置で観測することにより、試料の態様を知ることができる。

【0021】

【実施例】以下、添付図面を参照して本発明の共焦点顕微鏡の実施例を説明する。なお、図面の説明にあたって同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0022】（第1実施例）図1は、本発明の共焦点顕微鏡の第1実施例の構成図である。また、図2は、本実施例の共焦点顕微鏡の断面図を用いた、照射光および発生光の光路の説明図である。図1に示すように、本実施例の装置は、(a)空間的に拡がった照射光を出力する光源部100と、(b)光源部100から出力された照射光を共焦点用スキャナ300に導くとともに、共焦点用スキャナ300からの光の少なくとも一部を光源部方向とは異なる方向へ出力する光学系200と、(c)光学系200を介した光源部への100から出力された照射光を受光して試料900へ向けて照射光を出力するとともに、照射光の照射の結果として試料900で発生した発生光を入力して、発生光の少なくとも一部を出力する共焦点用スキャナ310と、(d)共焦点用スキャナ300から出力された照射光を試料900上に集光して微小スポットを形成するとともに、この微小スポットで発生した発生光を共焦点用スキャナ300上に集光する光学系400と、(e)共焦点用スキャナ310から出力され、光学系200を介した発生光を受光して発生光が担った情報である試料像を結像する光学系500と、(f)光学系500が結像した像を撮像する撮像部600と、を備える。

【0023】ここで、光源部100は、①照射光を発生する光源ユニット110と、②光源ユニット110から出力された照射光をレンズ220の後側焦点面に集光するコンデンサレンズ120とを備える。なお、図1では図示を省略しているが（図2には示される）、光源ユニット110は、①レーザ光源111と、②レーザ光源111からコンデンサレンズ120側とは逆の方向に出射された光をコンデンサレンズ120の方向へ反射する凹面鏡112とを備える。

【0024】光学系200は、①入力した照射光を2分岐して出力するビームスプリッタ210と、②ビームスプリッタ210で分岐された一方の照射光をコリメートして共焦点用スキャナ300に導くレンズ220と、を備える。

【0025】共焦点用スキャナ300は、直径が略同一、底面が略半円で厚さが異なる（厚さの相違＝60[μm]）、シングルモード光ファイバ（以後、単に光ファイバと呼ぶ）が配列された第1の部分311および第2の部分312から成る円盤状のファイバオプティカルスキャナ（以後、FOPと呼ぶ）310と、②FOP310の中心軸を回転軸としてFOP310を回転駆動するモータ320と、を備える。FOP内の光ファイバは、全て、その導波方向がFOP310の中心軸に略平行に形成される。

【0026】光学系400は、①レンズ410（倍率＝0.4）と、②対物レンズ420（倍率＝20倍、開口数（NA）＝0.75）とから構成され、共焦点用スキャナ300から出力された照射光をFOP310のシングルモード光ファイバを導波して出力された照射光を集光して試料900上に微小スポットを形成するとともに、試料900上に形成された微小スポットからの発生光を微小スポットの元となっている照射光を出力している光ファイバの照射光の出射領域に集光する。

【0027】光学系510は、光学系200から光源部方向とは異なる方向に出力された発生光を入力して結像するレンズ511を備える。

【0028】撮像部610は、光学系510が結像する像面に撮像面（カメラ光電面）612が配置された撮像器611を備える。

* 30

$$N_E = (\pi \times (8/2)^2) / (\pi \times (0.54/2)^2) \\ \approx 219$$

となる。カメラとして、1024×1024画素のものを考えれば、一つの像に関して貫通孔が2000以上あれば取ればカメラの分解能を低下させることはない。したがって、φ＝8[mm]の領域を円周上に10（＝2000/219）個程度確保すれば良い。

【0032】本実施例の装置は、FOP310を2段の階段状として段差を設け、FOP310の照射光の出射※

$$Z = (0.488/\pi) / \sin^2 [(\sin^{-1} 0.75)/2]$$

となる。像側において、横倍率は8（＝20×0.4）倍であり、縦倍率は64（＝8²）倍なので、焦点深度を深めるためには、段差は59（＝0.92×64）[μm]以上が適当な値となる。

【0033】本実施例の装置では、以下のようにして試料900の態様を観測する。

【0034】モータ320がFOP310を回転駆動している状態で光源部100から照射光が出力される。光源部100から出力された照射光は、光学系200を介して共焦点用スキャナ300のFOP310に入力す

*【0029】ところで、FOP310に形成された光ファイバのコア部は、FOP310に形成された光が単に通過する微小開口を有する貫通孔であるとみなせる。以後、光ファイバのコア部を貫通孔として、その径および配置密度を説明する。FOP310の複数の貫通孔は、駆動器320によるFOP310の周期的な1周期分の駆動により試料900上に形成される照射光の微小スポット領域の総和領域が試料上の観測領域を略均一となる配置に形成されている。そして、FOP310の複数の貫通孔の径や貫通孔の配置密度は、光学系400の特性との関連で適値が決まる。

【0030】通常、光学系400からFOP310に光が入射する場合の開口数（NA'）に応じて適当な貫通孔の径がある。孔径に関して光量と分解能とは相反する関係にあるので、孔径（D）はλ/NA'程度が適当である。また、貫通孔の間隔（d）は、孔径の100倍以上であれば充分である。本実施例の装置では、光学系400を上記のように、レンズ410と対物レンズ420とで構成しているので、

$$NA' \approx 0.09$$

であり、波長＝488nmで使用することを考えると、
 $D = 0.488 / 0.09$ [nm] = 5.4 [μm]
 $d = 100 \times 5.4$ [μm] = 0.54 [mm]
 となる。

【0031】顕微鏡の視野数が通常は20程度なので、有効領域の直径φは、

$$\phi = (\text{視野数}) \times (\text{レンズ410の倍率}) \\ \approx 20 \times 0.4 = 8$$
 [mm]

である。面積比から有効照射孔数N_Eを計算すると、

※端から試料900までの距離を2種類設定している。貫通孔の径を試料上に形成される微小スポットの径とほぼ等しいとすると、共焦点光学系における焦点深度Zは、およそ、

$$Z = (\lambda/\pi) / \sin^2 (\alpha/2)$$

なので、本実施例の装置では、

$$Z = (0.488/\pi) / \sin^2 [(\sin^{-1} 0.75)/2]$$

る。FOP310は、FOP310に入力した照射光の内のFOP310に形成された光ファイバのコア部に入射した照射光を照射光の入射面315と反対側の面316へ向けて透過する。光ファイバに導波された照射光は、面316の光ファイバの端面から出射され、この出射光が共焦点用スキャナ300の出力光となる。FOP310は、面316側に階段状の段差を有するので、FOP310の照射光の出力面から試料までの照射光の光路長は2種存在し、2種の光路長の差は略60[μm]である。

【0035】共焦点用スキャナ300から出力された照射光は、光学系400に入力する。光学系400は、入力した照射光を集光して、試料900上に微小スポットを形成する。試料900では、照射光の照射により反射光が発生する。試料900上で発生した光（以後、発生光と呼ぶ）で対物レンズ420に入力した発生光は、光学系400によって集光され、照射光とは逆の進路でFOP310の光ファイバのコア部に照射光出力側から入射する。このとき、夫々の光ファイバは、試料900における照射光の微小スポットからの発生光は効率よく通過するとともに、迷光を効率良く遮断する。したがって、FOP310を通過した光のSN比は非常に高いものとなっている。

【0036】共焦点用スキャナ300を通過した光は、光学系200を介して光学系500に入力する。光学系500は、撮像面611上に発生光の像を結像する。結像面上で結像された発生光は、ビデオカメラ610により撮像される。

【0037】ところで、光学系400によって形成される試料900での微小スポットの照射光の照射方向の位置は、FOP310の照射光の出射面316から試料までの距離によって異なる。したがって、微小スポットの照射光の照射方向の位置は2種であり、かつ、FOP310での光ファイバの配列密度および配列数は撮像カメラ610の画素分解能を低下させないので、撮像面上の像は微小スポットの照射光の照射方向の各位置ごとの2つの像が重なったものとなる。

【0038】この結果、従来のニポ一円盤を採用した共焦点顕微鏡の2倍の焦点深度で試料900の態様を観測する。

【0039】図3は、本実施例の装置のFOP310の変形例の円盤状部材350の構成図である。この円盤状部材350は、60[μm]を単位として段差が設定された6段構成となっている。円盤状部材350は、6種の扇状の部材351～356から構成され、部材351～356の夫々には光ファイバが2000本以上形成されている。部材351～356はこの順に厚さが60[μm]づつ大きく設定される。円盤状部材350の貫通孔のトラック長(L₆)は、

$$L_6 \geq 8 \times 10 \times 6 = 480 \text{ [mm]}$$

であり、したがって、円盤状部材350の半径は80[mm]以上必要となる。

【0040】図4は、図3の円盤状部材350と同様の機能を果たす盤状部材の例の構成図である。図4(a)に示す円盤状部材360は、厚さが360(=60×6)[μm]の範囲にわたって連続的に変化する扇状部材361～366から構成され、部材361～366の夫々には光ファイバが2000本以上形成されている。円盤部材360も図3の円盤部材350と同様に半径は80[mm]以上必要となる。図4(b)に示す円盤状

部材370は、光ファイバが形成された厚さが略一定の部材379と、部材379の試料900側端面に張り付けられた、厚さが720(=60×6/0.51)[μm]の範囲にわたって連続的に変化する扇状ガラス部材(屈折率=1.51)371～376から構成される。そして、ガラス部材371～376の夫々が張り付けられた部材379の対応する領域には、光ファイバが2000本以上形成されている。なお、図4では、円盤状部材の試料900側の領域を6分割して構成したが、分割数(1を含めて)は任意に設定できる。

【0041】ところで、顕微鏡の対物レンズは試料状の点までの距離および像点までの距離がある特定の値で収差補正されており、像点の位置を光軸方向にずらすのは本来好ましくない。ただし、このずれには顕微鏡として許容できる範囲がある。この範囲は、対物レンズの性能や、画像として捕らえる側(カメラ、肉眼など)の分解能(単位面積あたりのピクセル数)によって変化する。たとえば、接眼レンズを使用して肉眼で観察する場合には目の焦点調節機構が働き、カメラで観察する場合よりも焦点深度が深くなることが知られている。これは、対物レンズの設計範囲外でも観察していることに相当する。また、カメラであっても焦点深度が0ということはなく有限値を持つ。

【0042】図5は、本実施例の装置のFOP310の別の変形例の円盤状部材380の構成図である。図1に示すFOP310では、光ファイバの光の導波方向を全て円盤状部材の中心軸に略平行に形成されたが、円盤状部材380では光ファイバの光導波方向は、盤状部材の半径方向が略同一方向に配列された複数の光導波路についてはそれらの導波方向は互いに略平行であるとともに盤状部材の中心軸方向と交差するように設定されている。図5に示す円盤状部材380を採用した場合には、円盤状部材380と試料900との間では図6に示すように照射光および発生光が進行する。

【0043】なお、円盤状部材380においても、FOP310と同様に、設定する段差を2以上としたり、連続的に試料900との距離が変化するように変形することが可能である。

【0044】(第2実施例)図7は、本発明の第2実施例の共焦点顕微鏡の構成図である。また、図8は、本実施例の動作説明図である。本実施例の装置は、右目用観察像と左目用観察像とに関して、夫々、第1実施例と同様にして像を得る装置である。

【0045】図7に示すように、本実施例の装置は、(a)空間的に拡がった照射光を出力する光源部100と、(b)光源部100から出力された照射光を共焦点用スキャナ800に導くとともに、共焦点用スキャナ800からの光の少なくとも一部を光源部方向とは異なる方向へ出力する光学系200と、(c)光学系200を介した光源部への100から出力された照射光を受光して

試料900へ向けて照射光を出力するとともに、照射光の照射の結果として試料900で発生した発生光を入力して、発生光の少なくとも一部を出力する共焦点用スキャナ800と、(d)共焦点用スキャナ800から出力された照射光を試料900上に集光して微小スポットを形成するとともに、この微小スポットで発生した発生光を共焦点用スキャナ800上に集光する光学系400と、(e)共焦点用スキャナ800から出力され、光学系200を介した発生光を受光して発生光が担った情報である試料像を結像する光学系520と、(f)光学系520が結像した像を撮像する撮像部620と、を備える。

【0046】ここで、共焦点用スキャナ800は、①半径が略同一、底面形状が略半円の右目用スキャナ部810および左目用スキャナ部820と、②右目用スキャナ部810と左目用スキャナ部820とで形成される円盤状部材の中心軸を回転軸としてこの円盤状部材を回転する回転駆動部830と、を備える。右目用スキャナ部810は、右目用スキャナ部810と半径が略同一で厚さが異なる(厚さの相違=60[μm])、底面が4分円状の部材811と部材812とから構成される。また、左目用スキャナ部820は、左目用スキャナ部820と半径が略同一で厚さが異なる(厚さの相違=60[μm])、底面が4分円状の部材821と部材822とから構成される。なお、右目用スキャナ部810に配列された光ファイバは中心軸に平行であり、また、左目用スキャナ部820に配列された光ファイバは盤状部材の半径方向が略同一方向に配列された複数の光導波路についてはそれらの導波方向は互いに略平行であるとともに盤状部材の中心軸方向と交差するように設定されている。

【0047】なお、左目用スキャナ部810および右目用スキャナ部820は、第1実施例のFOPと同様に、段差の数を増加したり、連続して照射光の出射位置から試料900までの距離が変化するように構成してもよい。

【0048】また、共焦点用スキャナの円盤状部材を円周方向に偶数等分し、偶数(奇数)番目の領域を右目用スキャナ領域に設定し、奇数(偶数)番目の領域を右目用スキャナ領域に設定することも可能である。

【0049】光学系520は、右目用スキャナ部810または左目用スキャナ部820を介して光学系200から光源部方向とは異なる方向に出力された発生光を入力して右目用像および左目用像を結像するレンズ521を備える。

【0050】撮像部620は、①右目用像の結像面に撮像面が配置された撮像器621と、②左目用像の結像面に撮像面が配置された撮像器622と、③右目用スキャナ部810を介した発生光の撮像器622への入力および左目用スキャナ部820を介した発生光の撮像器621への入力を防止する、内部領域の半円部に開口が形成

された円盤状部材からなるシャッタ623とを備える。なお、シャッタ623は、回転駆動部830により、共焦点用スキャナ800と同期して回転駆動され、右目用スキャナ部810を介した発生光を撮像器621へ導くとともに、左目用スキャナ部820を介した発生光を撮像器622へ導く。なお、共焦点用スキャナの円盤状部材を円周方向に偶数等分し、偶数(奇数)番目の領域を右目用スキャナ領域に設定し、奇数(偶数)番目の領域を右目用スキャナ領域に設定した場合には、シャッタの円盤状部材の開口を変更する必要がある。

【0051】本実施例の装置では、以下のようにして試料900の態様を観測する。

【0052】回転駆動部830が右目用スキャナ部810および左目用スキャナ部820を回転駆動している状態で光源部100から照射光が出力される。光源部100から出力された照射光は、光学系200を介して共焦点用スキャナ800の右目用スキャナ部810または左目用スキャナ部820に入力する。右目用スキャナ部810または左目用スキャナ部820に配列された光ファイバは、照射光を透過して試料900に向けて照射光を出射する。この出射光が共焦点用スキャナ800の出力光となる。右目用スキャナ部810および左目用スキャナ部820は、照射光の出射面側に階段状の段差を有するので、右目用スキャナ部810および左目用スキャナ部820の夫々の照射光の出力面から試料900までの照射光の光路長は2種存在し、2種の光路長の差は略60[μm]である。

【0053】共焦点用スキャナ800から出力された照射光は、光学系400に入力する。光学系400は、入力した照射光を集光して、試料900上に微小スポットを形成する。試料900では、照射光の照射により反射光が発生する。試料900上で発生した光(以後、発生光と呼ぶ)で対物レンズ420に入力した発生光は、光学系400によって集光され、照射光とは逆の進路で右目用スキャナ部810または左目用スキャナ部820の光ファイバのコア部に照射光出力側から入射する。このとき、夫々の光ファイバは、試料900における照射光の微小スポットからの発生光は効率よく通過するとともに、迷光を効率良く遮断する。したがって、右目用スキャナ部810または左目用スキャナ部820を通過した光のSN比は非常に高いものとなっている。

【0054】共焦点用スキャナ800を通過した光は、光学系200を介して光学系520に入力する。光学系520は、右目用スキャナ部を介した発生光を撮像器621の撮像面に、左目用スキャナ部を介した発生光を撮像器622の撮像面に夫々結像するように発生光の光路を設定する。

【0055】光学系520から出力された発生光はシャッタ623に入力し、右目用スキャナ部810を介した発生光は撮像器621へ、左目用スキャナ部820を介

した発生光は撮像器622へ入力される。

【0056】こうして、撮像器621の撮像面に結像された右目用観察像が撮像器621で撮像され、撮像器622の撮像面に結像された左目用観察像が撮像器622で撮像される。

【0057】(第3実施例)図9は、本発明の第3実施例の共焦点顕微鏡の構成図である。本実施例の装置は、第2実施例と同様に、右目用観察像と左目用観察像とに関して、夫々の像を得る装置であり、撮像部に1台の撮像器を使用したものである。

【0058】図9に示すように、本実施例の装置は、
(a)空間的に拡がった照射光を出力する光源部100と、
(b)光源部100から出力された照射光を共焦点用スキャナ850に導くとともに、共焦点用スキャナ850からの光の少なくとも一部を光源部方向とは異なる方向へ出力する光学系200と、
(c)光学系200を介した光源部への100から出力された照射光を受光して試料900へ向けて照射光を出力するとともに、照射光の照射の結果として試料900で発生した発生光を入力して、発生光の少なくとも一部を出力する共焦点用スキャナ850と、
(d)共焦点用スキャナ850から出力された照射光を試料900上に集光して微小スポットを形成するとともに、この微小スポットで発生した発生光を共焦点用スキャナ850上に集光する光学系400と、
(e)共焦点用スキャナ850から出力され、光学系200を介した発生光を受光して発生光が担った情報である試料像を結像する光学系530と、
(f)光学系530が結像した像を撮像する撮像部630と、を備える。

【0059】ここで、共焦点用スキャナ850は、①内周側に右目用スキャナ部860が、外周側に左目用スキャナ部870が、中心からの見込む方向に関して排他的に形成された円盤状部材と、②右目用スキャナ部810と左目用スキャナ部820とで形成される円盤状部材の中心軸を回転軸としてこの円盤状部材を回転する回転駆動部880と、を備える。図10は、共焦点用スキャナ850の円盤状部材の構成図である。図10に示すように、右目用スキャナ部860は、厚さが異なる、底面が6分扇状の部材861、862、および863から構成される。また、左目用スキャナ部870は、厚さが異なる、底面が6分扇状の部材871、872、および873から構成される。

【0060】なお、左目用スキャナ部870および右目用スキャナ部880は、第1実施例のFOPと同様に、段差の数を増加したり、連続して照射光の出射位置から試料900までの距離が変化するように構成してもよい。

【0061】本実施例の装置では、以下のようにして試料900の態様を観測する。

【0062】回転駆動部880が右目用スキャナ部86

0および左目用スキャナ部870を回転駆動している状態で光源部100から照射光が出力される。光源部100から出力された照射光は、光学系200を介して共焦点用スキャナ850の右目用スキャナ部860または左目用スキャナ部870に入力する。右目用スキャナ部860または左目用スキャナ部870に配列された光ファイバは、照射光を透過して試料900に向けて照射光を出射する。この出射光が共焦点用スキャナ850の出力光となる。右目用スキャナ部860および左目用スキャナ部870は、照射光の出射面側に階段状の段差を有するので、右目用スキャナ部860および左目用スキャナ部870の夫々の照射光の出力面から試料900までの照射光の光路長は3種存在する。

【0063】共焦点用スキャナ850から出力された照射光は、光学系400に入力する。光学系400は、入力した照射光を集光して、試料900上に微小スポットを形成する。試料900では、照射光の照射により反射光が発生する。試料900上で発生した光(以後、発生光と呼ぶ)で対物レンズ420に入力した発生光は、光学系400によって集光され、照射光とは逆の進路で右目用スキャナ部860または左目用スキャナ部870の光ファイバのコア部に照射光出力側から入射する。このとき、夫々の光ファイバは、試料900における照射光の微小スポットからの発生光は効率よく通過するとともに、迷光を効率良く遮断する。したがって、右目用スキャナ部860または左目用スキャナ部870を通過した光のSN比は非常に高いものとなっている。

【0064】共焦点用スキャナ850を通過した光は、光学系200を介して光学系530に入力する。光学系530は、右目用スキャナ部を介した発生光と左目用スキャナ部を介した発生光を撮像器630の撮像面631に夫々結像するように発生光の光路を設定する。

【0065】こうして、撮像器630の撮像面631に結像された右目用観察像と左目用観察像とが撮像器630で蓄積撮像される。

【0066】本発明は、上記の実施例に限定されるものではなく変形が可能である。例えば、右目用スキャナ部と左目用スキャナ部との配置は、第2実施例の配置以外にも、全体として円盤状部材を形成するとともに、全体として右目用スキャナ部と左目用スキャナ部とのスキャン面積が同一であればよい。ただし、シャッタの開閉形状を右目用スキャナ部および左目用スキャナ部の駆動と同期するものとする必要がある。上記実施例では、共焦点用スキャナにおける駆動を回転駆動としたが、直線往復駆動も採用可能である。

【0067】

【発明の効果】以上詳細に説明した通り、本発明の共焦点顕微鏡によれば、共焦点用スキャナの試料に向けての照射光の出射位置および試料からの発生光の集光位置の試料からの距離を周期的に変化することとしたので、ボ

けた画像を重畳することなく焦点深度を深くすることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施例の共焦点顕微鏡の構成図である。

【図2】本発明の第1実施例の共焦点顕微鏡における光路の説明図である。

【図3】第1実施例の共焦点顕微鏡におけるFOPの変形例の構成図である。

【図4】第1実施例の共焦点顕微鏡におけるFOPの変形例の構成図である。

【図5】第1実施例の共焦点顕微鏡におけるFOPの変形例の構成図である。

【図6】図5の変形例における照射光と発生光との光路の説明図である。

【図7】本発明の第2実施例の共焦点顕微鏡の構成図で

ある。

【図8】本発明の第1実施例の共焦点顕微鏡の動作の説明図である。

【図9】本発明の第3実施例の共焦点顕微鏡の構成図である。

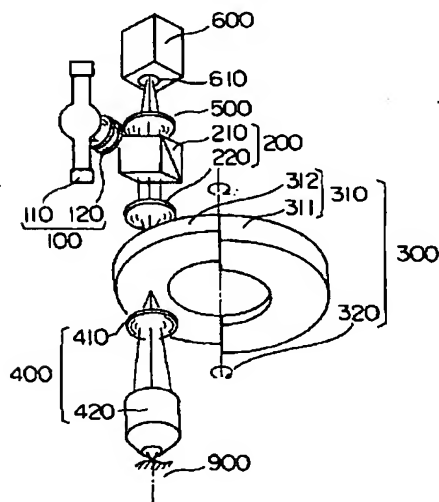
【図10】第3実施例の共焦点用スキャナ円盤状部材の構成図である。

【図11】従来のタンデムスキャン型共焦点顕微鏡の構成図である。

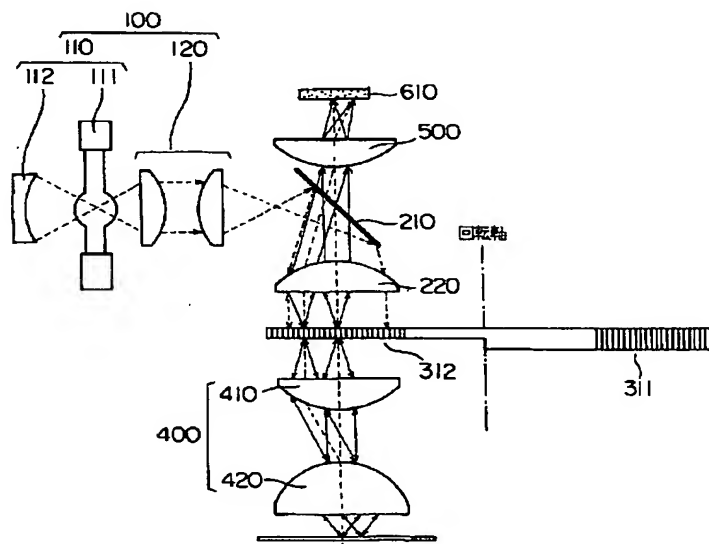
【符号の説明】

100…光源部、200…光学系、210…ビームスプリッタ、220…レンズ、300、800、850…共焦点用スキャナ、310、350、360、370、380…FOP、320、830…駆動部、400…光学系、500、520、530…光学系、600、620、630…撮像部。

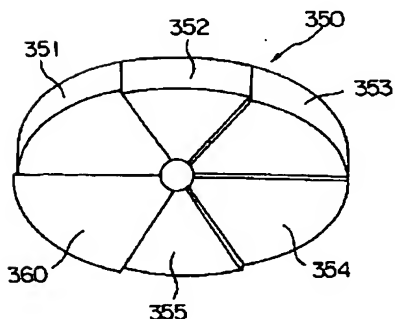
【図1】



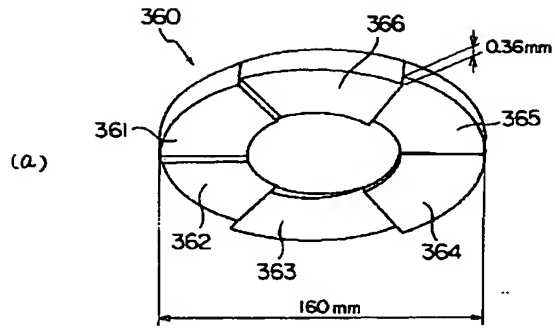
【図2】



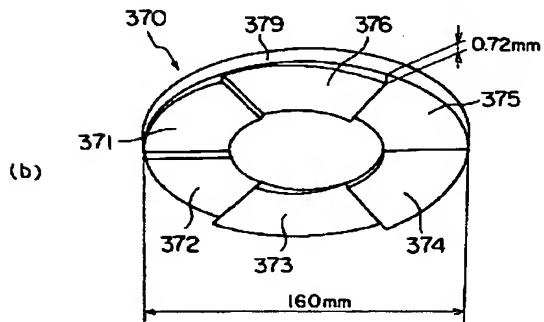
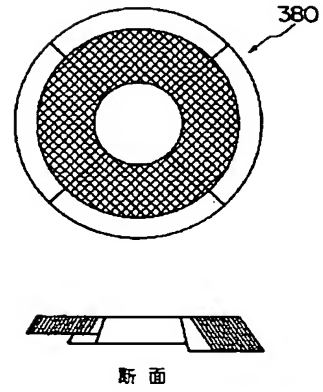
【図3】



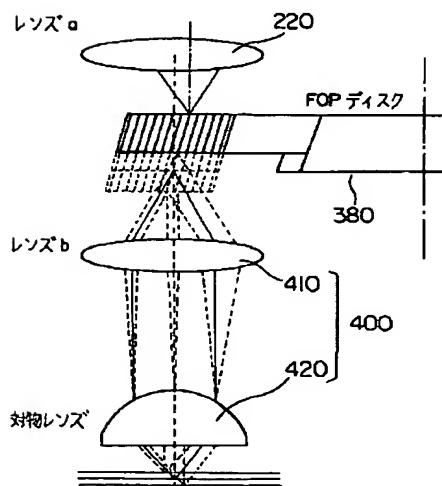
【図4】



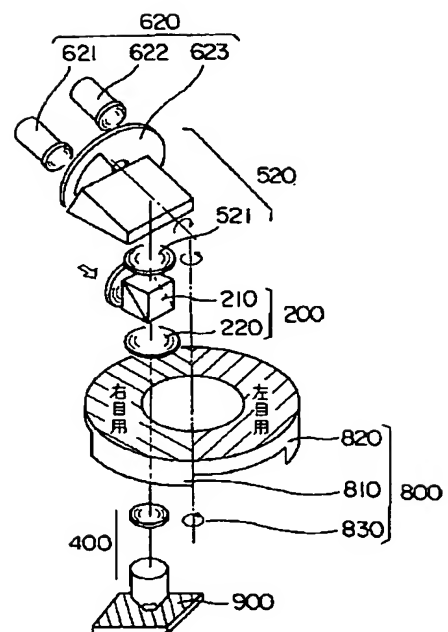
【図5】



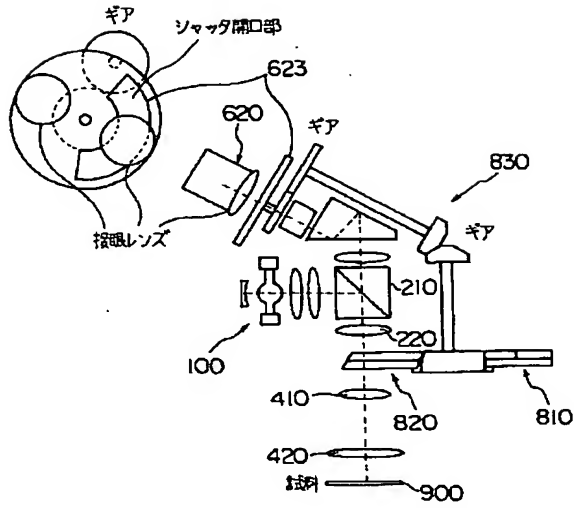
【図6】



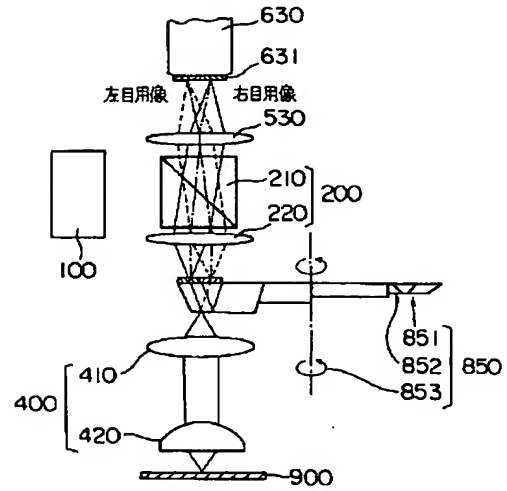
【図7】



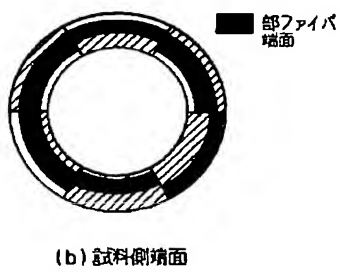
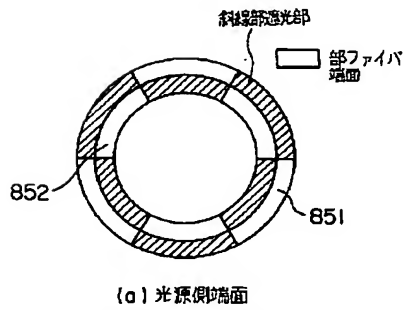
【図 8】



【図 9】



【図 10】



【図 11】

